

# 音楽と言語と脳

加 藤 雅 子

## 1 章 脳の可塑性

### 1.1 脳の可塑性と集中的訓練

ヒトのニューロン間の神経ネットワーク結合に関して、幼児期における脳の成長過程で主として形成されると長い間考えられてきた。(記憶に直接関与していた構造だけは例外であったが…) このネットワーク・パターンは、後に変化することはないだろうと考えられていた。しかしながら、人間は全生涯のあいだ、かなりの柔軟性をもって新しい挑戦に立ち向かう。1980年代初期から、蓄積された実験上の証拠は、実質的には、様々な感覚・知覚経験を通して、おとなになってからも絶えず変異し、生涯、学習によって脳が変容する可能性があり、言い換えれば、脳の可塑性を限りなく秘めている<sup>1)</sup> ということであった。Pantevらが強調していることは、ヒトの脳の成長にとって、幼児期は極めて重要な時期であること、しかしながら、それが全てではないということ。つまり、楽器を演奏する場合にも、外国語を習得する場合にも確かに臨界期は存在すると考えられる。おとなの脳にも集中的な訓練は可塑的变化 (plastic changes) をもたらすし、その意味では、我々の学習は生涯可能であると言える。だからと言って、楽器にも言語にも始めるのに適した時期というのはある。端的に述べると、個人差があるのは言うまでもないが、凡そ此のくらいの年齢を超えないうちに訓練・練習を開始すれば、第二・第三言語の獲得も可能であるという臨界期 (Critical Period)、または感受性期 (Sensitive Period) と呼ばれる時期があることは事実である。この意味で、脳の体性感覚皮質 (somatosensory cortex) の組織化に影響をもたらす要因は、必ずしも練習量だけではなく、子どもの発達に根ざした練習開始の時期、すなわち、個人差はあるとは言え、一般的な目安となる年齢の問題も同時に考慮しなければならないと結論付けられる。

ここで、Pantevらの論文に掲載の実験を紹介する。被験者として、9人の弦楽器を演奏する音楽家 (内訳は6人のピアニスト、2人のチェロ奏者、1人のギタリスト) と6人のコントロール被験者に、左手の指 (D1 親指とD5 小指) を刺激した後に、MEGを使って測定された皮質源の力を音楽家とコントロールグループとで比較した。結果は、音楽家のほうがコントロールグループより、測定した力は大きかった。さらに、音楽家集団のD5の刺激に対する皮質の反応は、早期に楽器を習い始めたグループのほうが、そうでないグループより大きかった。さらに、ヴァイ

オリンやチェロを13歳以前に習い始めた音楽家よりも、D5に対する皮質の表象大きかったが、楽器を演奏しないコントロールグループよりずっと大きかった。(Pantev, 305) Pantevらと同様に、Rauschecker (2001) も、運動能力をより良く伸ばすためにも、また聴覚皮質の自己組織化に対する感受性期があることなどの理由から、楽器を幼年期の早い時期に習い始めることは理に適っているとしている。

## 1.2 GeschwindとGalaburda (1987)<sup>2)</sup> の側性化理論

ヒトの脳の「左右非対称」の問題、即ち、側性化 (lateralization) に関しては、GeschwindとGalaburda (1987) 以来、活発に論じられてきた。Geschwind とGalaburdaは、遺伝的要因の重要性は認めながらも、胎児の遺伝子給源外の多くの影響要因が、これに関わっていることを強調している。「最も強力な要因は胎児期の、続いて乳児期、及び幼少期の化学的環境である」と述べ、脳の優位性を変更する同じ要因が他の形で発達に影響を与えることもありうるとして、特に免疫に関わる器官への影響などを示唆している。

解剖学的非対称の顕著な部位として、*planum temporale* (側頭平面)<sup>3)</sup> を挙げ、この部位はウェルニッケ言語野の側頭上部表面の伸展部であり、左前頭・弁蓋部 (left frontal opercular region) 即ち、ブローカ言語野の一部を形成している領野でもある。一般に、左半球のほうが右半球よりも、襞が多く畳み込まれており、皮質面積が右半球より左半球のほうが大きいことを指摘している。

## 1.3 左右非対称の発達のメカニズム<sup>4)</sup>

シルビウス溝 (Sylvian fissures; 別名・外側溝) および成人のシルビウス点において、左右非対称は、16週胎児にもすでに発見されている。左右非対称の原因は、最初の原神経細胞素が形成され、続く初期の発達段階では、DNA複製や細胞分裂、細胞移動や細胞死などの比率において、左右で差異が出てくる可能性がある。端的に述べると、神経細胞構築上及び発達学的に、左右差はごく初期の段階で起こること、通常ラットの場合も、ニューロン移動の流れは、右側が先で左側の流れを導く。つまり、発達上、右半球が早く、早期に完了する。左半球はゆっくりと成長する。

## 1.4 言語獲得の臨界期<sup>5)</sup>

ここで、筆者の言語に対する考え方、特に、音楽との関連から、獲得の臨界期を見ていく。言語活動は、音楽と同様に認知活動の一部という考え方、つまり、すでに述べてきたように、ニューラルネットワーク (Spitzer 1996の理論) の必然性と、これに伴う獲得の臨界期がある。この臨界期についても、具体的な事象との関連において、いくつかの臨界期があると考えて妥当と思われる。音声や言語の獲得を中心に重要と思われる年齢から、臨界期を設定してみると次のようになる。

- 臨界期 (第一言語獲得の場合と第二・第三言語獲得の場合、または、言語野のある半球を癲癇など脳の疾病によって切除手術をした場合と残った半球側での言語野の形成など、目的に応じて、著者が提出した臨界期は下記の5段階に及ぶ：

- ①第1臨界期：音声の獲得とプロソディー（リズム、イントネーション（抑揚）、メロディーなど）の獲得—音楽の基礎でもあり、音声言語の基礎でもある〔生後6ないし7ヶ月頃から1年数ヶ月〕
- ②第2臨界期：言語らしい言語の出てくる2歳ころ
- ③第3臨界期：4～5歳時頃（ナースリーや幼稚園などで社会性が芽生える時期）バイリンガルの子どもが本当の意味において、たとえば、母親、父親と異なる言語を使い分け、コミュニケーションがとれるようになる。また、ピアノなど楽器演奏の技術を習い始めるのも、この時期が多い。
- ④第4臨界期：小学校に入学のころ〔7歳児頃〕 この時期は、小学校へ通うようになり、言語を含めた認知能力が格段と発達する時期
- ⑤第5臨界期：10歳～13歳児ころ；第二言語獲得の臨界期（但し、厳密な意味で発音から母語音に近いものを目指す場合は、少なくとも、7歳時ころが望ましい。ただこの頃までは、癲癇などの疾病で左半球を切除手術しても、手術後のリハビリ訓練と本人の努力で、右半球に言語野の形成が可能な時期でもある。

しかしながら、最も言語にとって重要なのは、やはり第一臨界期である。この時期のしっかりとした発達の基礎がなければ、その後の発達に障害をきたす。

ここで、上述の臨界期を、ピアジェの発達上の重要な時期と比較してみよう。

ピアジェの「感覚運動的な能力」の発生と発達の顕著な時期は生後2歳頃までの発達段階に相当する。子どもは、生後数ヶ月から1年以上もかけて、発声・発音の訓練をしており、表出系にとって基礎的で不可欠なプロソディーにもすでに十分に習熟しており、コミュニケーションの相手と感情的な交流も出来るようになっているので、認知的にも、言語的にも、文法の萌芽と言える2語文から成るピヴォット・グラマー（Pivot Grammar：軸文法）と呼ばれる言語発達の顕著な時期を迎える。その後は、家庭外の幼稚園や保育園での活躍の時期である4～5歳ごろ、それから小学校へ通い出す7歳ころ、知的能力も格段に発達し始める時期である。小学校へ通い始めてからは、さまざまな科目の学習を通して、言語の発達と知的発達が相乗的に加速し、充実する。

思春期前10歳前後と、さらに高度な抽象的な概念や論理的思考にとって重要な認知能力の発達期である15～16歳頃、このころまでが、ヒトの前頭前野における細胞密度とシナプス密度の年齢変化に伴う増減パターンが示しているように、神経科学的に極めて重要な「高度変容期」である。ピアジェが「形式的操作段階」と呼ぶ言語を含めた総合的な知的能力の成熟期であり、前頭前野のすべての領野のニューロンに、ミエリン鞘が完成される時期でもある。結論として、言語の初期の音声パターンの獲得および音楽としての基礎を形成することと関わることから、極めて重要な時期である。言うまでもなくその後の脳の発達にとって、つまり、認知神経科学的に重要な時期（年齢）も、発達のそれぞれの段階において、順次重要な時期となることは、確かである。それらのすべての行程を経て、ヒトは人間として真に人らしく自立していけるようになる。

## 2章 二つの半球における情報処理

### 2.1 左右半球の特異的な情報処理機構<sup>6)</sup>

最近 右半球の重要性が、老人性痴呆症の研究や小児の言語を含めた認知発達、幼児教育の分野などにおいて、特に注目されてきている。また、失語症の回復にも、右半球が大いに関与していることが明らかになりつつある。さらに、半側空間無視では、一般的に、左半球症候群（Left hemisphere Syndrome：LHS）より、右半球症候群（RHS）の方が重症である。

- 神経回路の形成・発達上、右半球が主導的な役割を果たしていくが、胎児期において、すでに将来の重要な神経ネットワークの基礎となる回路がつくられている。その際、右半球が先で、左半球の発達へ刺激を与える。
- 情報処理機構の視点から、大まかな処理（全体的処理）から、部分的・分析的・精密な処理へと発達すると考えられるが、現実には、これら全体処理と部分的処理が分担性により、並列的・同時的に行われる可能性があるということ。言語の処理を例として観た場合にも、時間的・継続的な直列的処理と同時に、統合的・総合的な空間的イメージとして捉える並列的処理を行っている。そのことは、例えば、一方の半球が時間的・直列的に分析することに優れているとすると、他方の半球は、空間的・統合的なイメージとして同時的、並列的に捉えることに優れていると仮定することが可能である。

左脳と右脳の機能上の違いについて、下記の引用部分を考察しよう。

「左半球は一般に系列的な処理に優れ、それゆえ両半球のうちでより分析的な半球であると考えられる。情報処理におけるこのような分析的様式は、言葉だけで入ってくる情報のすべてに適用されるものと考えられる…これに対して右半球は、空間的パターンや空間関係の知覚に必要なタイプの情報の同時的処理により適合するようになった。右半球の特性は、視覚や視覚的記憶の基盤となる過程が発達し、精緻化されたものであるとされている。さらに推測を進めれば、右半球は、あらゆる種類の情報の処理に際して、左半球に比べて、より全体的・統合的な半球であると考えられる。」<sup>7)</sup>

ここで、特に重要な右半球と左半球の違いがあることに着目したい。ひとつは、恐らく進化の過程と関連があらうと思われる。発生・発達の時期の違い、つまり、右脳が先で、左脳が右脳から分化し、手の動きや発音・発声・構音などの発話の際の細密な運動をコントロールする能力や、より分析的で生産的な聴覚の発達を可能にしたものと推測できる。

特に、最終的に、音楽と脳に関して、右半球の重要性について述べている。左半球のブローカ野に相当する右半球の領野が「歌う」ときに活発化して、深く関係していること。歌っているときは、むしろ左右両半球が活性化されているが、言語を司るのは、左半球であるのに対して、「歌う」行為をコントロールしているのは、ブローカ野に相当する右半球の領野である。

### 2.2 右半球の重要性<sup>8)</sup>

左半球と比べて、右半球機能の特殊性として「空間認知機能や、外界の空間における身体の位置付け・方向付け」、さらには、感情に関わる機能、自己の主観的感情経験と他者による感情の

外的表出などを包括的に丸ごと理解すること、例えば、注意（attention）と覚醒（arousal）システムや記憶（memory）などの認知系に関して重要な役割を果たしている。

La Pointe教授は2002年7月に開催の日本失語症学会（\*現在・高次脳機能障害学会と改名）25周年記念特別講演において、*Right Hemisphere Syndrome: Recent Trends in Understanding and Assessment* [右半球症候群：理解と評価の最近の傾向]と題する講演を行った。その中で、彼は、“従来、右半球の役割はマイナーで従属的なものとされてきたが、実は、右半球は、生存に不可欠な一群の行動において、特別な役割を果たしている”ことを強調された。実際に、右半球損傷患者（Right Hemisphere Damage, RHD）患者の視覚上の問題は、からだを左右に分割する正中線の左側視野への無視とか不注意だけの単純な問題ではない。それは右半球損傷に苦しむ凡そ30%の人々に起こることが報告されてきたが。前頭葉と頭頂葉の皮質、脳幹神経節（basal ganglia）、レンズ核の内包（internal capsule）、視床（thalamus）などを含むと言う。例えば、半側空間無視は複数の感覚のモダリティー（種類）にわたって起こり得るという。視覚においてよく起こるが、聴覚刺激にも触覚刺激にも、嗅覚刺激にも起こることが報告されている。更に、右半球は「注意（attention）と覚醒（arousal）システムや記憶（memory）などの認知系に関して重要な役割を果たしている」こと。単に、言語処理を助けているだけでなく、現実には、注意や記憶の問題は、言語処理から解きほぐせないほどに縋り交ぜにされている。LaPointeによると、この段階を（1）「基礎的なコミュニケーションと認知の作用」と（2）「複雑なコミュニケーションと認知の作用」とに分類し、特に、後者を、実際にコミュニケーションが行われる社会的状況と解説している。即ち、実際に発話が行われる場とは、極めて複雑・微妙な意味的要因とか、メタファーやアイロニーやユーモアなど、表現された言葉の下に隠された話者の感情とか、そのようなことを理解したり、自らも、場と状況に応じて、そういった表現手段を産出したり、自在に使いこなせる能力を持ち合わせていることを示唆している。

### 3章 音楽と言語

#### 3.1 言語処理と音楽処理

「言語処理と音楽処理に関する類似点と相違点については、進化の視点および認知的視点からは、単一の実在とは考えられない。ゆえに、両者は、それぞれ異なる構成素から成る、異なるレベルのプロセスに分解されるべきものである」と考える必要があると、Bessonら（2001）<sup>9)</sup>は述べてつも、自らに問いかけている。ここでの中心的課題は、「言語に固有な処理に依存するのか、それとも、一般的な認知の法則に依存するのであろうか？」と問うている。だが、冒頭の部分は、誤解を招きやすいので、注意が必要である。むしろ音楽と言語の起源を考えると、それらのルーツは極めて類似していることが解かる。たとえば、半鐘や太鼓の原型のようなものをたたいて、遠くに住む人々に何かを知らせたとか、山間部に生きる人々が響を利用して、大声で何かのメッセージを伝えたとかは、今でもありうることもかもしれない。これらのごく日常的な事象が、片や時と場所を経て、洗練された音楽に、或いは言語に発展してきたと考えても、そんなに奇異なことではない。むしろ言語と音楽に類似点があることに着目することが重要であろう。このため、言語課題時における脳の活動をさまざまな音楽関連課題時のブレイン・イメージング研究結果と比較



するため、一連の事象関連電位 (ERP)<sup>10)</sup> を使った実験が、言語と音楽の異なるレベルにおける処理を対象に行われた。全般的に、言語における意味的処理の或る相が音楽におけるメロディーとハーモニーの処理の或る相と比較されたとき、結果は言語の特殊性に有利であった。これとは対照的に、言語における統語的処理 (シンタクティック・プロセッシング) が音楽における和声 (ハーモニー) の処理の諸相と比較されたとき、より普遍的な認知の法則が関係しているという見解が有利となった。更なる検証を要する仮の結論とは言え、Bessonらは、後者の事実、即ち、「時間的構造」(the temporal structure) の分析によって、言語と音楽が類似した結果へと到達したことを述べ、この結論は、他のブレイン・イメージングの結果によっても支持されなければならないし、脳の構造と機能の関係の「時空的ダイナミックス (動力学)」に更なる光を注ぐことになることと締め括っている。ヒトの脳の構造と機能の関係は、コンピュータのハードウェアとソフトウェアにも喩えられるが、ヒトの脳は、置かれた環境に適応しようと自らを絶えず変容させ、柔軟に可塑的にハード・ウェアである脳の構造本体さえも変容させていく努力を絶えず怠らないという点で大いに異なるし優れている。この意味で、ヒトの脳はその構造と機能において、細部に至るまで瓜二つというものは存在しない。ニューラル・ネットワークを張り巡らされた生体としての脳のコンピュータには、独創性や臨機応変性および再生力や復元力において、現代科学が生み出した最高レベルの性能を有するコンピュータさえもこれを凌ぐことはできないであろう。

ここでBessonらが「言語」として議論の中心に取り上げているのは、さまざまな場におけるコミュニケーションのことであり、日常生活での実用的な場での言語使用から、芸術や文学などの領域にまで及ぶ言語の使用、人間社会のあらゆる局面における口頭や文書による言語使用のことである。Sergentら (1992) によるプロの音楽家を被験者とした実験

Sergent, J., Zuck, E., Terriah, S., & MacDonald, B. (1992) : Distributed Neural Network Underlying Musical Sight-Reading and Keyboard Performance, *Science*, 257, 106-109. は、PETとfMRIによるブレイン・イメージング技術を用いて、10人のプロの音楽家を被験者とした楽譜の初見時と、キーボード上での演奏時の脳画像を撮影し、比較検討した。彼らの研究の概略を見てみよう。

### 3.2 Sergentら (1992) の実験の動機と目的<sup>11)</sup>

「音楽も、他の表現形式と同様に、その表出において独特の技法を必要とする。しかも、これらの技法の機構や表象については、あまりよく解明されていない。そのため、Sergentらは、陽電子断層撮影法 (Positron Emission Tomography : PET) と磁気共鳴映像法 (Magnetic Resonance Imaging : MRI) によるブレイン・イメージングを用いて、音楽の初見時とキーボード演奏時の機能的神経解剖学実験を10人のプロのピアニストに対して行った。楽譜を読むことと、音符をキーボード上の指の運動パターンに変換する作業は、類似の言語操作とは区別されるが、隣接した大脳皮質の領野での活性化をもたらした。これらの発見は、音楽家における脳損傷が損傷領域の大きさや部位によって、言語と音楽の両方の機能に影響を与える場合と与えない場合があることの理由付けとなる。」(106)

### 3.3 音楽と言語の共通性

Sergentらは、音楽と言語の共通特性として、次のような特質をあげている。

(S1) 両者とも、表出的にも、受容的にも用いられる。

(S2) 両者とも、表出するということは、精密な連続的な（筋）運動の活動である。

(S3) 両者とも、知覚的に分離した文字や音符による書かれた体系（システム）によって表現される。

これに対して、音楽と言語は次のような重要な相違点があると述べている。

(D1) 音楽でのフレーズは、言語での文（センテンス）が伝達するような種類の情報を伝えない。音楽のフレーズは、フィーリングとか情緒・身体の緊張感とか解放感の様式—即ち、特定の概念や対象を言及するというよりは、そういった感覚を喚起する。

(D2) したがって、音楽の文法は、ハーモニーと対位法（カウンターパート）の観点から構成されている。この点において、言語の文法における文法範疇としての名詞や動詞などの様式とは異なっている。即ち、音楽的表記法は図形的・象徴的であり、機能的にもアルファベットによる書字体系（システム）とは異なっている。

(D3) D1とD2の必然的結果として、「失語症は、必ずしも音楽家における損傷を受けた音楽能力とは関連・連携していない」という結論で締め括っている。

このことが、音楽能力と言語能力の神経生物学的基盤の相対的機能的独立を示唆する由縁であるとSergentらは考えた。しかも、失語症患者の神経心理学的研究を通して、言語機能の脳における表象については、かなり多くのことが解かってきているので、彼らは音楽的技能や演奏に関する神経機構に関心があることを述べている。脳損傷のある、実際に活躍している音楽家というのは稀であるから、研究自体、音楽課題時の計測のほうが、言語の場合より遥かに困難ではあると断っている。このように前置きして、実験の課題は、音楽家に特有の二つの特異な技能である楽譜初見の能力とその表記された譜面を演奏するために、キーボード上で（手指の）運動パターンに変換していく能力、これらの神経生物学的基盤を調べることでであると明言している。

### 3.4 Sergentらの実験の概要

#### ✧ 実験方法

「楽譜の初見」と「ピアノ演奏」の基礎を形成している構成要素を機能的に単離する目的で、PETを使った引き算法（subtractive PET method）を使用した。さらに、MRIによる被験者の脳の解剖学的情報とPETから得られた機能的情報を結合させる技法を採用した。

✧ 被験者は、マギル（McGill）大学音楽学部の学生及び教員の10人で、ピアノ演奏の専門家であった。PETの中で、仰向けに寝た姿勢で、目の前のモニターテレビに呈示されるバッハの『パルティータ（BWV767）』の楽譜を読みながら、お腹の上に載せたローランド社製・キーボードを右手で弾かせた（主課題）。この主課題に対して、対照課題として、次の6条件が与えられた。

- ① スクリーン上の注視点を見つめる課題。
- ② ピアノで弾いた上昇・下降音階を聴く課題。
- ③ キーボードで上昇・下降音階を右手で弾く課題。
- ④ スクリーン上に呈示される点の位置に応じて手を動かす課題。
- ⑤ スクリーン上に呈示されるバッハの『コラール（BWV717）』のソプラノ声部を読譜する課題。

- ⑥ ⑤と同じようにして、バッハの『コラール (BWV717)』のソプラノ声部を呈示しながら、そのピアノ演奏を聴く課題。

これらと主課題をあわせると、合計7課題であった。それらの課題による脳の活動領域をPETで検索し、減算法によって各音楽活動によって活動する脳の領域が特定された。

7つの課題活性化条件に参加した主たる実験条件は、被験者の頭上に置かれたTVモニター上に、J.S. Bachの作曲したパルティータの楽譜とともに提示された。各被験者は、その楽譜を見て、右手でキーボードを弾いた。そのほかの条件のどれも主課題の構成成分を単離するためのコントロール作業として役立った。それらは、(i) 明るいスクリーン上の固定点を見る；(ii) ピアノで弾いた上昇音階と下降音階を聴く；(iii) キーボード上、右手で上昇音階、下降音階を聴きながら弾く、など。

#### ◇ 実験結果

課題の違いに関連した脳血流 (CBF) の変化から生じた活性の有意な焦点が脳座標の観点から表1 (Table 1) に提示されている。

主要実験課題のおおの (ピアノを弾く、聴く、読譜する) は、コントロール作業の分析を通して、初めに単離された特定の脳皮質と関係があった。

音楽活動において活動する大脳皮質領域、及び小脳は、次の通り：

- ◆ 「右手で音階を弾く」と、左の運動野 (4野)、運動前野 (6野)、と右小脳および前運動皮質 (6野) を活性化した。
- ◆ 「音階を聴く」と両側二次聴覚野 (42野) と左上側頭回 (22野) の活性化 (22野は、言語に携わるウェルニッケ領域のすぐ前方の領域)
- ◆ 「曲を聴く」と、両側二次聴覚野 (42野) と両側上側頭回 (22野) (音階を聴くときには活性化されなかった右上側頭回が、曲を聴くときには活性化)
- ◆ 読譜のみでは、両側視覚連合野 (18野)；左頭頂・後頭移行部 (19野) (19野は、見えるものの空間的位置を識別するときに活動する。)
- ◆ 「楽譜を見ながら曲を聴く」課題では、曲を聴くだけの場合にも、読譜だけの場合にも活動しなかった「音符と曲を関連付けるときだけに活動」した両側頭頂葉の縁上回 (40野) の活動が見られた。
- ◆ 「楽譜を見ながら右手で弾く」課題では、両側半球の上頭頂小葉 (7野) とキーボードを弾く右手に対応する左運動前野 (6野) とブローカ野の直上に位置する左前頭回皮質 (\*) の活動が見られた。岩田 (2001) は、「セルジャンは44野\*としているが、むしろ9野であろう」とコメントしている。その理由として、岩田は、「9野は視覚情報のうちの空間的位置情報の処理にあたり、視覚情報に基づく手の運動をコントロールすると考えられている領域であり、楽譜を見てこれをキーボードで弾く際に重要な働きを示すことに不思議はない。一方、言語機能においては、ブローカ領域 (44野) が発語に関与する筋活動の時間的順列のプログラミングを行っていると考えられているが、キーボードを弾く際の右手の運動に関与する筋活動の時間的順列のプログラミングを行う領域が、その近傍に存在することとなるほどと思われる結果である」(238-239) と述べている。

ここで、Sergentら (1992) の音楽活動において活動する大脳皮質領域の表 (Table 1) を観



てみる。下記に、座標上のX軸、Y軸、Z軸についての解説を引用する。例えば、Y軸は、前方vs.後方に関わる軸であり、負数（-）は後方への位置関係を表す。同様に、Z軸は、背側（dorso-lateral）か腹側（ventral）かの位置関係を表し、腹側方向が負数で表示されている。また、正中線から両側部へ向かうX軸は、左方向へは、負の数で表され、右方向へは、プラスの数で表示される。このように座標軸上での位置関係が表されると同時に、ブロードマンの大脳皮質上での位置関係を示す領野番号も与えられている。

Table 1. Significant foci of activation derived by paired activation subtraction <sup>12)</sup>

X	Y	Z	Brodmann's area		cortical area
<i>Listening to scales minus visual fixation</i>					
54	-13	6	Right	42	Secondary auditory <sup>13)</sup>
-50	-25	9	Left	42	Secondary auditory
-56	-4	2	Left	22	Superior temporal (gyrus)
<i>Playing and listening to scales minus listening to scales</i>					
-35	-26	54	Left	4	Primary motor
15	-62	-20	Right	Cerebellum	Cerebellum
-4	-7	57	Left	6	Superior frontal gyrus
<i>Reading score minus presentation of visual dots</i>					
20	-95	2	Right	18	Secondary visual
3	-92	11	Right	18	Secondary visual
-23	-95	-3	Left	18	Secondary visual
-24	-66	38	Left	19	Occipito-parietal sulcus
<i>Reading score and listening minus reading score</i>					
-50	-23	9	Left	42	Secondary auditory
55	-16	6	Right	42	Secondary auditory
58	-9	5	Right	22	Secondary temporal
-50	-33	12	Left	22	Superior temporal
-46	-36	49	Left	40	Supramarginal gyrus
<i>Sight-reading, playing, and listening minus reading score and listening</i>					
-40	-19	53	Left	4	Primary motor
15	-59	-17	Right	Cerebellum	Cerebellum
-48	10	29	Left	44	Inferior frontal gyrus
-51	6	36	Left	6	Premotor cortex
-16	6	53	Left	6	Premotor cortex
-28	-64	56	Left	7	Superior parietal lobe
20	-66	57	Right	7	Superior parietal lobe

### 3.5 楽器演奏と練習 (practice) について

Bangert, M., Haeusler, U., & Altenmüller, E. (2001)

On Practice : How the Brain Connects Piano Keys and Piano Sounds. *Annals of New York Academy of Sciences*. 注)

「練習について」と題するここに取り上げた論文は、(ピアノ練習によって) 如何にピアノの鍵盤と、そこから生ずるピアノ音との協同の心的表象の産出が促進されるかを実験によって示している。音楽と練習の積み重ねの重要性について考える好材料であるので、この実験の概要を見てみよう。

◆ 実験のパラダイムにおいて、ピアノ演奏の「音を聴く」という特性と「指運動」という運動特性を分離することによって、①短時間 (20分)、②比較的長期間 (5 週間)、および③10 年～20年、あるいは、それ以上 (例えば、プロの音楽家による場合) の練習の効果をテストした。

◆ 被験者：24人の右手利き被験者の内訳は、9 人の初心者からなる二つのグループ (一方は、“map group” で、もう一方は、“non-map” グループ) に加えて、熟練の6 人のピアニスト (ピアノ演奏家) からなるグループであった。

◆ 実験方法：

(1) 60の純粋に聴く作業課題\*をさせている間、EEG<sup>14)</sup> による脳波を記録した。(EEGは electroencephalogram脳波《脳電図》のこと。)

(\*ピアノで演奏されたメロディーを受動的に聴く課題と60の純粋な運動作業課題のセット、即ち、右手で音の出ないキーボードのキーをランダムにたたくという作業であった)

(2) ここでは、ピアノ演奏において初心者の被験者が聴かされたメロディーを再演しなければならなかった。

(3) 音の出ないキーボードで行った実験 (1) と同じEEGの採取記録。

◆ 使用機器：32チャンネルEEG\*

DC-EEGデータに基づき、関心領域 [ROI] を予め定義した：前側頭領野 (左半球と右半球) および運動野／前運動野

調べた周波数帯域：alpha (8-13Hz)、low beta (13-21Hz)、gamma (35-45Hz) と delta (0.1-4Hz)

◆ 結果：DC-EEGにおいて、20分の短期間訓練においても、5 週間の訓練においても、聴覚と運動領野の共通の活性化を引き出した。

◆ 「音楽を聴く」課題においては、頭頂皮質と前頭外側皮質に加えて、前運動野と運動野の活性化が観察された。これに対して、音を出さない指運動では、両側頭葉の活性化も見られたが、使っていない左手の感覚運動領での能動的な抑制も観察された。さらに注目すべきことは、練習時間が増えるにしたがって、右半球前頭葉外側部での活動が増した。

特に、重要な最後の数行のコメントをここに引用する：

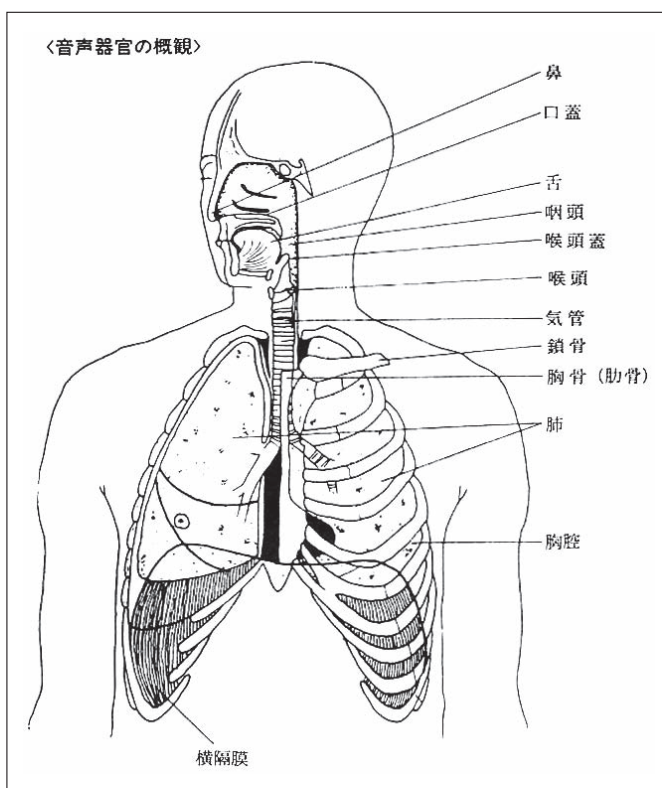
「ピアノ演奏は、聴覚制御の下で、迅速、且つ正確な共同課題に挑む高度な要求を伴った運動系のモデルである。鍛錬を積むことによって、皮質の聴覚野と感覚運動野の手 (指) の領野は、音の出ない指運動作業だけでも、またピアノ演奏を聴くだけの純粋に聴覚による刺激だけでも、共同で両領野が活性化される。興味深いことに、このような聴覚と運動の共同表象は、訓練の最

初の数分間で創られ、数週間で強化され、さらなる高度な技術の達成への基盤を提供する。そして、ここでのプロの音楽家の被験者のように、長い年月の修練を経て、聴覚皮質と手指の感覚運動領野が共同で活性化するようになるということが観察されている。さらに注目すべきことは、関連のモダリティーの各々によって引き出されたトポグラフィー上の活性部位は、類似していること。しかも、類似の程度は、蓄積された訓練時間と相関があるということである。」(p.428) 加えて、右背側前頭前野 (a right dorsolateral prefrontal area) が初心者においても、プロの演奏家においても、共同で働く (心的) 表象に関与しているのである。但し、キーボードの心的地図 (a mental map) をまだ構築していない初心者は別である、と注釈を付けている。

### 3.6 出力系としての発声のメカニズム

発声のメカニズムは、一般に考えられているほど単純ではない、と筆者には思われる。理由は、何故、失語症患者に「メロディー・イントネーション治療が効果的か？」という問いに対する答えに示唆されていると思われる。つまり、音楽と言語の基礎 (必須のコンポーネント) である音質 (timber)、音の高さ (pitch)、ピッチ変化によるメロディー (melody) の形成、抑揚 (intonation)、リズム (rhythm) など、纏めてプロソディー (prosody) と呼ばれる感覚的・情緒的な表出によって決定的に重要な部分のことである。これらは、言語的基盤であると同時に、音楽的基盤でもある。言語にも音楽にも共通な核 (nucleus) となる感情占有の構成素 (感情コンポーネント) であり、コミュニケーションに必須の基礎部分でもある。感覚系の入力の中でも、聴覚は早期に母親の胎内において発達することが解かっている。重度の難聴児において、およそ6ヶ月ころまでに人工内耳の装着手術を行い、術後のリハビリを続けていくと手術の成功の確率が高いと言われているが、ちょうどこの時期は、0歳児の「喃語期」に入る直前の時期であることは、偶然の一致ではなかろう。「喃語期」というラベルを付けられたために、この時期は、単に言語発達にだけ重要な時期と思われがちであるが、実は、二重の意味において重要であると筆者は考える。つまり、音楽と言語に共通のプロソディカルな面での認知や運動に関連があると思われる。幼児の言語獲得そのものが、歌のようなメロディーの付いた音の連鎖の中から、音を切り取っていくという学習過程が、言語獲得への第一歩であると考えられる。そうすると、聴力は、胎児のころから発達してきているので、受容レベルでの音の流れを聴く力は、生後直後から0歳児に備わっている。さらに、0歳児において、生後すぐに自分の母親の声をほかの女性の声と聞き分けることができる能力があることが実証されているし、好む曲とそうでない曲の選別も徐々にではあるが、出来上がっていく。一般に「喃語期」と呼ばれる時期は、0歳児の音声発達過程において画期的な時期と言える。それは、音声を単に受容するだけであった時期から脱して、自ら体を丸ごと使って、発声するという出力系全身運動だからである。肺から吐き出される呼吸を使って、手や足腰で、拍子を取りながらタイミングを計って、思い切って声を出してみる。喋るとか歌う行為に伴う発音・発声は、日常化しているおとなにとっては、ごく当たり前の自動化した無意識的行為であっても、喃語期に入ったばかり (生後7ヶ月ころ) の赤ちゃんにとって、初めて抑揚のついたリズムミカルな音節の連続的パターンを発音・発声することは、かなりの勇気と決断とエネルギーの要る行為であるし、観察された。発声・発音という行為は、そもそも肺から押し出された呼吸が声帯を経て、口腔へと吐き出される過程において可能になる。声帯は、喉頭

内腔に内方に向かって突出する2組の襞状構造のうち、下方のものを指す。この襞（ヒダ）は、披裂軟骨声帯突起から甲状軟骨正中前部へと向かって走っており、内面は粘膜に覆われている。粘膜固有層は、浅層と深層に分かれ、浅層は疎であって、このため粘膜はさらに深層の筋組織の表面で、ズレ運動を起こし、これが発声時声帯表面における粘膜波動を成立させている。粘膜固有層の深層は筋（甲状披裂筋内側部で、声帯筋と呼ばれる）の表面に筋膜を形成している。左右の声帯は発声時内転して正中で近接して、下方からの呼気流との相互作用で振動して、呼気流を断続することによって、声が成立する。この層構造は、声帯にとって機能的に意義深い。



## 4章 光トポグラフィーによる音楽関連課題時の脳測定

### 4.1 楽器演奏技能の習得と年齢

前章において、Sergent, et al. (1992) のPETおよびfMRIによる10人のプロのピアノ演奏家による楽譜の初見時と、その曲をキーボード上で演奏したときの機能的、神経解剖学的研究を紹介した。彼らの結果は、音楽活動は、言語活動の基盤となる皮質とは異なるものの、隣接した皮質の活動によるものであることを明らかにした。音楽と言語は、表出形式においてそれぞれ独特の形式を有するが、両者に共通なことは、表出面では、いずれも複雑な音の組み合わせによる、連続的な運動を伴う活動であること、しかも、表出技術の獲得には、生物学的・認知神経科学的発達の視点から臨界期があることである。特に、ピアノなどの楽器演奏の技術は、第一言語獲得の



場合と同様に、この臨界期と呼ばれる時期を過ぎて獲得を試みることは、多大の努力が要り、そのような努力を注いでも思うような成果を挙げ難い場合が多い。

#### 4.2 初見による演奏などの実験概要

下記のような光トポグラフィーによる実験を試みた。

- 実施日：2003年9月18日—19日
- 実施場所：東京大学教育学部地下006号室（多賀研究室）
- 被験者：東京芸術大学音楽学部学生10人（うち、院生2人、学部生8人）；コントロール・グループとして、身体教育院生とスタッフ
- 実験課題
  - ① 演奏聴取（Hear）：ピアノの音源から呈示される曲を聴く
  - ② 読譜（Read）：譜面台の位置に配置したモニターに呈示される楽譜を読む
  - ③ 初見演奏（Play）：譜面台の位置に配置したモニターに呈示される楽譜を見ながら、ピアノを演奏する。
  - ④ 自由演奏（Free play）：自分で選定した任意の曲を自由に演奏する。
  - ⑤ コントロール（control）条件：タッピング・タスク（親指にその他の4指の先端をランダムに接触させる。）

#### 装置および材料

##### ➤ 装置

- 日立メディコ社製・光トポグラフィー ETG-100、2台
- 3X5のプロープ2枚（各22チャンネル、計44チャンネル）、ファイバー30本
- Roland社製電子ピアノ（堅型 [Upright] ピアノ）
- 刺激呈示用パソコンおよびモニター

##### ➤ 呈示用の楽譜材料

- Bach 作曲・Partitaの中から30パーツを選定し、①演奏聴取 [Hear]
- ②読譜 [Read] ③初見演奏 [Play] の各条件課題で、10パーツずつ使用。

- ◆ 聴取-条件：15秒（Expertにより演奏されたもの）電子ピアノの音源を用いて呈示された曲を）を聴く
- ◆ 読譜-条件：15秒より少し長め
- ◆ 初見-条件：15秒程度で弾ける長さ

—Partitaから使用した30パーツの具体的な箇所—

##### ◆ 聴く

<Partita 1 BWV825>

- ① 1. Praeludium 1-3 小節目（以下15秒間の範囲）
- ② 3. Corrente 1-12 小節 2 拍目
- ③ 4. Sarabande 13-15
- ④ 5. Menuet 1 1-15

<Partita 2 BWV827>

- ⑤ 1. Sinfonia 8-10 小節 1 拍目
- ⑥ 21. Sarabante 1-5 小節 2 拍目
- ⑦ 25. Capriccio 1-14

<Partita 3 BWV827>

- ⑧ 1. Fantasia 1-17
- ⑨ 6. Scherzo 1-12 小節繰り返しで 1 小節目に戻り、4 小節目まで
- ⑩ 7. Gigue 25-35

◆ 初見

<Partita 1 BWV825>

- ① Allemande 1-7
- ② Allemande 19-25

<Partita 2 BWV827>

- ③ Allemande 1-4 小節 2 拍目
- ④ Allemande 17-20

<Partita 3 BWV827>

- ⑤ Allemande 1-3 小節 3 拍目
- ⑥ Allemande 9-11 小節 3 拍目

<Partita 4 BWV828>

- ⑦ Allemande 1-4 小節
- ⑧ Allemande 25-28

<Partita 5 BWV829>

- ⑨ Allemande 1-4
- ⑩ Allemande 13-16

◆ 読譜

<Partita BWV825>

- ① Corrente 29-40 小節 2 拍目
- ② Sarabante 1-4 小節 1 拍目
- ③ Giga 1-12

<Partita BWV826>

- ④ Sinfonia 1-3 小節 1 拍目
- ⑤ Corrente 1-7 小節 4 拍目
- ⑥ Corrente 1-11 小節 1 拍目
- ⑦ Sarabante 1-5 小節 1 拍目
- ⑧ Burlesca 1-9
- ⑨ Scherzo 13-27 小節 1 拍目
- ⑩ Gigue 25-35

## ➤ 手続き

- 計測部位：両側頭葉
- Expert（音楽学部学生）に関して：聴取 [Hear]、読譜 [Read]、自由演奏 [Free play]、およびコントロール [Control] の4条件を被験者間でランダムな順序で実施。
- Non-expert（コントロール・グループ）に関して：聴取 [Hear] と読譜 [Read] の2条件を被験者間でランダムな順序で実施。
- 各条件で10試行（5試行ずつ2ブロックに分けて）実施。
- 前半4ブロックの順序で、後半ブロックも実施（前半がH-R-P-Fであれば、後半もH-R-P-F）各ブロック内の曲の呈示順序は被験者間でランダム化した。
- Rest時開眼安静（注視点を凝視）；手は、聴取時、読譜時、コントロール条件時では、演奏時に自由演奏時では鍵盤上に置くよう指示した。
- Motion Artifactが顕著な場合は、再計測した。

## ◇ 各実験条件時の指示：

- ◆ Hear — 「曲が聞こえてくるのでよく聴いてください。声をだしたり、指を動かしたりしないでください。」
- ◆ Read — 「画面に楽譜が出てくるので、両手で弾いてください。声を出したり、指を動かしたりしないでください。」
- ◆ Play（初見演奏） — 「画面に楽譜が出てくるので、両手で弾いてください。間違えても気にしないでリラックスして弾いてください。楽譜が消えたら演奏をやめてください。『+』が出ている間、手は鍵盤の上においてください。」
- ◆ Free play（自由演奏） — 「画面に『弾いてください』と出ている間、自由に曲を弾いてください。指示が消えたら演奏をやめてください。」
- ◆ Control条件 — 「画面に『動かしてください』と出ている間、両手の指でランダムな順番に親指に触ってください。手は膝の上に置いてください。」

## ◇ 解析手順

- Long-time drift の除去
- 加算波形の産出
- Channelごとに [oxy-Hb]（酸化型ヘモグロビン）および [deoxy-Hb]（還元型ヘモグロビン）の有意な変化を検討（ANOVA）
- F値をもとに2次元マップを作成

## 4.3 被験者のピアノを習い始めた年齢

幼年期早期（3歳～6歳；平均の開始年齢は4.9歳）にピアノ、エレクトーンやヴァイオリンを習い始め、現在も授業や個人レッスンを受け続けたり、演奏活動をしている（\*うち1名：音楽科の学生は例外）

- ◇ 被験者：芸大生 10名（院生2名と学部生8名；うち男子3名、女子7名；全員音楽学部 に所属している（専攻は楽理、作曲、声楽、ピアノ専攻、音楽教育）

#### ◇ 被験者の年齢・性別・利き手・楽器の種類と習い始めた年齢

被験者	S101	S102	S103	S104	S105	S106	S107	S108	S109	S110
利き手	Right	Right	Left	Right	Right	Right	Right	Right	Right	Right
楽器 開始年	Violin 5歳8月	Piano 3歳1月	Piano 3歳	Electr 4歳11月	Electr 6歳1月	Piano 5歳9月	Voice 23歳	Piano 4歳	Piano 5歳	Piano 5歳
性別	F	F	M	F	M	M	F	F	F	F
年齢	20	20	22	25	26	19	30	24	29	30

(年齢幅：19～30歳；平均年齢：24.5歳)

◇ 結果：＜Expert被験者について＞ [\*10人の芸大生の被験者をコントロール・グループに対して、Expert被験者と呼ぶ。被験者の選定に当たっては、慎重に事前に加藤の研究室でインタビューをし、音楽的背景についてクエスチョネアにも答えていただいた。] 以下に、その概要を記す。

#### 4.4 被験者に見られる特徴

- 院生の専攻は、音楽教育（女子1人）と作曲（男子1人）；学部生の専攻は、楽理6人、作曲1人、声楽1人
- 年齢幅は、19歳から30歳まで、平均年齢は、24.5歳であった。
- 10人中9人は、幼児期早期（3～6歳頃；平均4.9歳）からピアノ、エレクトーン、ヴァイオリンなどのレッスンを開始している。レッスンの形態は、個人レッスンとヤマハ音楽スクール、桐朋音楽教室などの幼児の音楽英才教育で名高い音楽教室に通った場合があったが、圧倒的に後者のケースが多かった。
- 音楽教室などに通った場合、ピアノやヴァイオリン演奏の技術を習う傍ら、ソルフェージュ[聴音、リズムなど]の訓練を受けた者が多かった。
- 現在の芸大（音楽学部）生としての生活も、音楽漬けという感じで、大学の正規の授業はもとより、課外活動においても、アルバイトにおいても、まったくのフリータイムにおいても、音楽に関わる活動をしているということであった。趣味や勉強のために参加している楽団での活動、大学の副専攻で、ピアノ演奏の高度なレッスンを専攻したり、中には、第三、第四の楽器に挑戦している学生もいた。

#### 4.5 実験結果

- 聴取— 音楽聴取時に右聴覚野（聴覚連合野）が活動、右ブローカ相当野の活動も観られるケースがあった。
- 読譜— 右ブローカ相当野が活動するケースがあった。聴覚野の顕著な活動は観られない。右半球優位性は目立たなくなる。
- 演奏— 自由演奏時に比べて、初見演奏時の脳活動がより活発。右は前寄り活動が活発。左は、全領域で賦活（視覚野にも多少かぶる？）但し、演奏時のデータの信頼性みついて、Motion Artifactの問題あり— 心的な緊張や動揺の影響であろうか？



Expert（聴取）：右聴覚野、右偏側性あり；右ブローカ相当野あたりが賦活する場合もある。左運動野がうっすらと賦活している場合もある。

Expert（読譜）：右ブローカ相当野が賦活；聴覚野が賦活する被験者が減少。

Expert（初見演奏）：運動野、前頭ブローカ野、聴覚野；右半球の賦活が大きい。

Expert（自由演奏）：右半球ブローカ相当野；聴覚野が深津するケースが減少。

コントロール・グループ：運動野はあまり反応していない；聴覚野あたりが反応している。

◇ <Expert：N=10 グループごとの平均トポグラフィー・イメージ>

◇ —聴取：右半球優位：聴覚野、ブローカ相当野、前頭野

◇ —読譜：右ブローカ相当野；前頭、聴覚野の反応消失、左の前よりも目立たない

◇ —初見演奏：右は前寄りが活動し、後頭寄りには活動が目立たない。

左は、前頭、頭頂、上後頭あたりが活動。

◇ —自由演奏：初見演奏ほど顕著ではないが、同様の傾向。

—コントロール・グループ：一部聴覚野？

<[酸化ヘモグロビン]の有意変化>

Expert：N=10 [聴取] 右聴覚野とブローカ相当野が賦活（左右差が大きい）

Expert N=10 [読譜] 左右差消失；左の前寄りも賦活。

Expert N=10 [初見演奏] と Expert：N=5 [自由演奏] 右では特に前寄りが賦活；左では後寄りまで賦活（特に初見演奏の場合に顕著）

## 5章 脳活動における言語と音楽の比較

### 5.1 光トポグラフィーの原理

「人間の頭部は、外側、頭皮、頭蓋骨、硬膜、脳脊髄液層、大脳皮質（灰白質）、白質の順で層構造をなす。頭蓋骨では、波長700-800nmの近赤外領域で0.1%程度の光が透過することが実験的に証明された。この波長帯で硬膜・軟膜、脳脊髄液層は比較的透明であるので、頭皮の外から直径1mmの光ファイバーで、近赤外光を照射すると、一部の光は30mmの深部まで到達し、白質や灰白質（大脳皮質）で反射して再び頭皮の外まで戻ってくる。これを同じく直径1mmの光ファイバーで検出すると、大脳皮質の状態を分光計測できる。被験者の安全性を確保するために、太陽光より微弱な出力1mW以下の半導体レーザを光源として用いている。酸化型ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンは近赤外領域の吸収スペクトルが異なるために、多波長多点計測によりそれぞれの濃度空間分布を知ることができる。ただし、強い光散乱のために光路長が特定できない場合が多く、実際には濃度変化を観測する。逐次計測法あるいは周波数偏重の同時計測法をもちいて、チャンネル毎のクロストークを避けた多点計測を行うことにより、大脳皮質におけるヘモグロビン分子種のマップを作成できる。」引用部分は、小泉氏が第21回日本神経心理学会特別講演で、彼らの研究室で試作した光トポグラフィーの紹介をしているところである。以下に視覚的に計測法を図式化したものと、その解説を紹介することとする。左上には、インターフェイス部と、中央の図には、大脳左半球中心溝付近（即ち、前頭葉側に運動野が、頭頂葉側に体性感覚野が位置している）の光トポグラフィーによる観測の画像を示している。Roland（1980）の

パラダイムを使用して、各指の先端を親指の先端に順次触れさせるタッピング・タスクである。点線で示す中心溝の位置は、各被験者について脳外科手術用のニューロナビゲーターを使用して確定している（Watanabe, 1996）。つまり、図（中）は、酸化／還元ヘモグロビンおよび両者の和（血液量）を画像化（視野：6 cm × 6 cm）したもの。対側の右手指のタッピングにより、酸化ヘモグロビンの顕著な増加と還元ヘモグロビンの減少が観測された。

図（下）は、書字（文字・言葉を書くこと）によるブローカ言語野の活性化を測定したもの。fMRIなど従来の脳高次機能計測法で書字の計測が不可能であった理由は、仰臥位で計測するということは、極めて不自然であったため、黙話（サイレントスピーチ）の課題が用いられてきた。この書字テストで与えられた課題は、被験者に対象物を次々に見せて、その名前を言葉にして即座に記述させた。対象物を示した絵は2秒毎に差し替えられ、集中的に課題に答えなければならぬ状況を作りだしている。また、リファレンス状態として、無意味図形を模写させている。書字の際、手と腕を動かすので前頭葉の運動野も賦活されるが、リファレンス状態でもやはり手と腕を動かすので、課題とリファレンス状態の引き算をすることによって除かれる。さらに、視覚・眼球運動による賦活の部分の信号も除かれる。その結果が、図であり、左半球の前頭葉の顕著な賦活が観察されているが、これがブローカ言語野にほぼ相当する。〔図版は小泉英明氏提供〕

## 5.2 楽器演奏の熟練と言語の熟練

上述の光トポグラフィーによる非侵襲的な頭皮上から光ファイバを通して照射される近赤外光によって大脳表面の血液量の変化を計測する実験を東京藝術大学音楽学部〔学部生8人；院生2人〕の学生さんに協力いただき実施した。

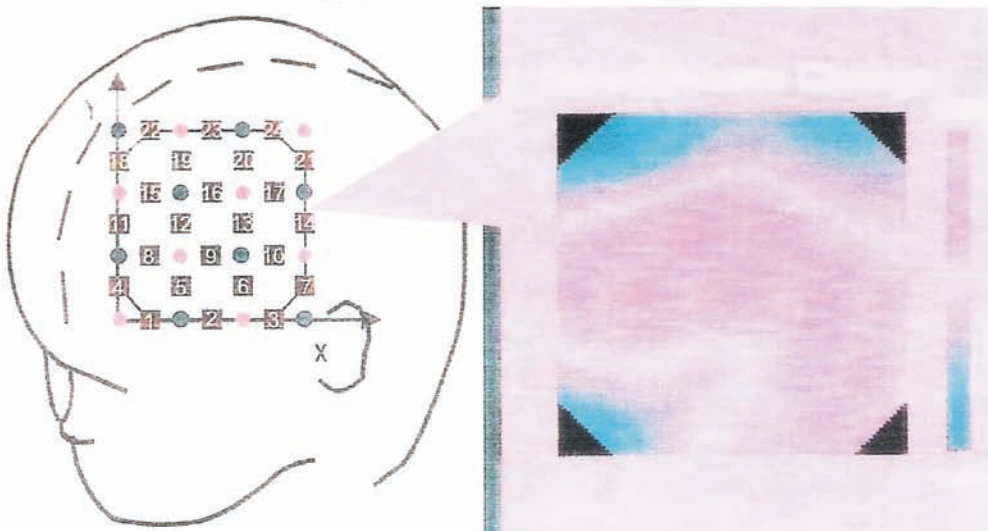
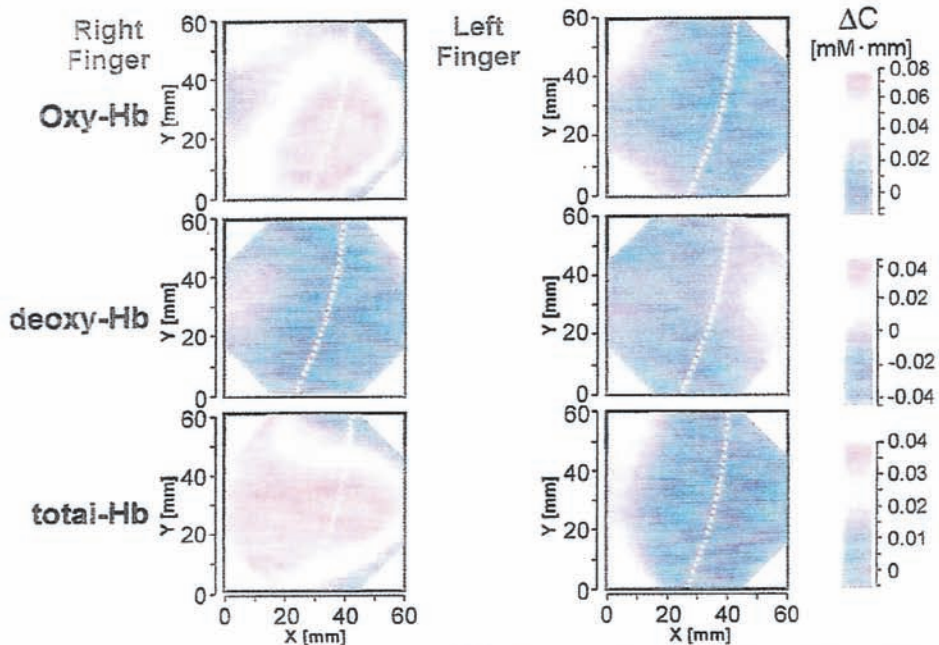
音楽関連課題条件として、ピアノ演奏を聴取する、モニター画面の楽譜を読む、初見演奏するなどのほかに、1日目は、コントロール実験としてのタッピング・タスク（上述の指運動）を入れたが、これはあまり適切なコントロール条件でないことが判明し、2日目には、前もって自由演奏の課題を与えておき、凡そ15秒程度で弾ける同じ曲の10パートを選んでもよいし、各パートが異なる曲から選んでもよいという指示を与えておいた。その結果、被験者5人は、予め10パートの選曲と全体の構成を考えてきた。実験前にすでにイメージ・トレーニングがなされていたせいか、両手両指の活動はかなり活発であった被験者も、光トポでの計測の結果は、ほかの被験者同様、初見時の脳活動と比較すると、初見時の方が活発であった。右半球は前寄りの活動が活発で、左半球は初見条件では、全領域で賦活していた。しかも、熟練の演奏家が音楽を聴取しているとき、右聴覚野（聴覚連合野）が活動しているのに加えて、右ブローカ相当野が活動しているケースが観られたこと、このことは、fMRIにより、右運動皮質および右前頭葉の島（insula）と左小脳（left cerebellum）が歌詞をつけないでメロディーだけを口ずさんだときに活性化したことと関連があると思われる。光トポでは、fMRIのように領域を正確に特定するのはかなり難しい場合もあるが、左ブローカ野は、前頭葉・運動皮質に隣接しており、運動系【出力系・表出系】言語音の発音・構音のプログラムを組む部位であり、先の書字実験によってほぼ同定されている。無論、被験者個人の脳部位については個性があり、画一でない故に容易い問題ではないが。言語機能にとって重要な左ブローカ野（ここが損傷を受けると、構音障害や失文法がしばしば生じる）に対して、右半球の相当野が音楽に関わる表出系のプログラミングに関与していると考

【図】

光トポグラフィーのインターフェイス部  
(左上)

運動野／体性感覚野の対側性の観測（大脳左半球中心溝付近）  
(中)

書字における言語野（Broca領野）の活性化  
(下)



えられる根拠がある。次の我々の実験の被験者は、1人を除いて、15～20年以上、3歳から5～6歳（平均4.9歳）の間にピアノやヴァイオリンを習い始め、今も続けている熟練した専門家であった。そのためか、モデル演奏を聴取しているだけのときでも、また、実際にはサイレントな状態で読譜していたときにも右半球のブローカ相当野が活発に活動しているケースがあった。光トポグラフィーによる計測の利点は、fMRIなどの場合の仰臥位と異なり、堅型電子ピアノを使用できたため、普通にピアノを弾くときの姿勢で自然に演奏できたように観察された。実験後、彼ら自身もそう述べていた。PETやfMRIの場合のように、半ば閉鎖的な狭い空間で、キーボードをおなかの上に載せながら、「弾く」課題を行うというのは精神的・心理的にプレッシャーのかかる事であろうと推測される。

単にほかの人の録音した演奏を聴取しているだけのときでも、また、実際にはサイレントな状態で、読譜をしてしたときも、右脳、特に右ブローカ相当野が活発に活動しているケースがあった。加えて、光トポグラフィーによる計測の利点は、被験者を狭い空間に閉じ込めることなく、さらに、（堅型電子ピアノにしたため）普通にピアノを弾くときの姿勢となんら変わりなく、被験者は自然な形で実験が受けられたように観察された。PETやfMRIの場合のように、半ば閉鎖的な狭い空間で、キーボードをおなかの上に載せながら「弾く」課題を遂行するというのはかなり精神的・心理的にプレッシャーのかかる事であろうと推測される。

### 5.3 Nakadaら（1998）のfMRIを使った音楽と言語に関わる実験<sup>15)</sup>

Whether music is a right hemisphere or left hemisphere function oversimplifies the neuroscience of music. Nevertheless, clinical reports have indicated that the right hemisphere is more specifically related to musical function. Those patients who developed disorder of music associated with left hemisphere lesions almost always have accompanying language disorders. By contrast, virtually all patients with musical disorders unaccompanied by noticeable language deficits had right hemisphere lesions. Our data clearly illustrated that literacy in music is specifically dependent on the cortical areas adjacent to the right transverse occipital sulcus.

第一に、Nakadaらがここで強調していることは、音楽が右半球か左半球かという議論は、音楽の神経科学を単純化し過ぎているということ。それにも関わらず、多くの臨床報告によると、右半球は音楽機能と明確に関係があるということ。左半球損傷と関連ある音楽障害をもつ患者は、ほとんどの場合、言語障害を伴っている。これとは対照的に、言語障害の伴わない音楽障害を有する実質的にすべての患者は、右半球障害であったとやはり結論として、音楽と右半球との深い関係について報告している。

さらに、メロディー生成には、もっぱら右半球が関わっていること、このことはWadaテストで実証されていること。だが、リズムについてはどちらにしても片側だけではブロックできなかったことを報告している。リズムと小脳との関係についても興味ある問題であるが、リズムは、何よりも我々の四肢（手や足）の運動と切り離せない。例えば、我々が自転車に乗っているとき、或いは、ダンスをしているとき、左右の手足の筋肉を協同させて活動している。「したがって、どちら側が優位であると仮定するのは、奇妙なことに思われるかもしれない。それでも仮に



ある活動が一方の半球によって優位に統御されていると考えても、質問表（クエスチョネア）や実演テストによって、脳の優位半球を決定することは困難なことであろう」と述べながらも、Geschwind とGalaburda（1987）は、「両側の神経支配による活動であっても、脳のどちらか一方の半球により統御されているということはありうることであって、驚くべきことではない」と結んでいる。このことは、実は、脳において言語の活動で起こっていることであると解説している。以下に、Geschwind とGalaburdaを引用する：

With rare exceptions, the sounds of language are produced by symmetrically innervated muscles and yet are typically programmed unilaterally. Furthermore, in singing the same muscles are innervated bilaterally and yet may be controlled from the side of the brain contralateral to the one controlling speech. In fact, the movements of both speech and singing are far more symmetrical than many movements involving the trunk. (77)「稀な例外があるが、言語音は左右対称的に神経支配を受けた（発声・発音に関わる）筋によって生成されるが、プログラミングは、通常、一つの側で行われる。さらに、歌っているとき、同じ筋肉が両側で（両半球の神経支配を受けて）活性化されるが、統御しているのは、脳の片側、即ち、言語と反対の右半球だけからであるかもしれない。以下、訳は省略。」と述べているが、このことは、すでにfMRI実験などにより、証明されている。さて、再び、Nakadaらの実験に話を戻して、29歳男性被験者の英語を読んでいるときと日本語を読んでいるとき、および読譜しているときのfMRIの脳画像を比較してみよう。英語（第二言語）と日本語（第一言語）と楽譜を読むという異なるモダリティーの「読む」という活動にも関わらず、いずれの場合も左半球の聴覚と視覚の連合皮質を含んでいたこと。この部位に加えて、「楽譜を読む」活動の場合だけ、右後頭葉の皮質のある領域が活性化されたことが特筆されている（Fig. 1, p.43参照）。このことは、4章で述べたように、我々の楽器（ピアノ）演奏の実験でも、観察されたことである。

#### 5.4 右半球ブローカ野の役割—表出性音楽プログラミング

—歌うことと、楽器を弾くことの共通性—

表出性失音楽（うたうことと、楽器を弾くことが同時に障害される場合と、片方だけ障害される場合があるが）と失語症の場合と同じように、結論として、音楽も言語同様、ニューラルネットワークによる発達を支持するものである。さらに、歌をうたうことはできるが、ピアノを弾くことは障害されるというような失音楽も存在するし、また失語症の場合にも、書くことも、話すこともどちらも出来ない失語症もあるが、純粹語唾で喋ることが出来ないけれど、書くこと（書き取り、自発書字、模写など）はできるとか、純粹失書で書くことが出来ないけれど、喋ることは出来るというものもある。

#### 5.5 右半球と左半球の情報処理機構の違いと幼児の言語発達過程における右脳言語と音楽の関係

右半球の情報処理と左半球の情報処理機構の違いについては、筆者（2004）『脳と言語の諸相』の3章において、特に、右半球の機能が最近老人痴呆症の研究や幼児の言語を含めた認知発達においても、また幼児教育においても注目されてきていることに言及した。さらに、失語症患者のリハビリにおいて、「メロディー・イントネーション療法」が、その効果を認められてきている。

子どものさまざまな可能性・創造性を育成する立場から右脳の開発、訓練などの重要性を提唱する研究者や臨床家が多い。同時に、「反側空間無視」では、右半球症候群の方が、左半球症候群よりも重症であることを、La Pointe教授は強調しておられた（2002年失語症学会年次大会）。

さらに、0歳児が言語を獲得していく過程で、一般に「喃語期」と呼ばれる生後6～7ヶ月ごろから言語が現れる1歳後半ころまで、或いは、それ以上、2歳ころまでの間、繰り返し練習を積み重ねるリズムカルでメロディアスな音節の連鎖、時には、ピッチが極端に高くまで上がる上昇音階のようでもあり、「歌」のように節（ふし）がついて聞こえる。メロディー生成には、専ら右半球が関わっていること。メロディーは、ピッチ（＝音の高さ）の変化と関係がある。7ヶ月児が母語の音声を習得し始め、さまざまな音節の組み合わせにリズムをつけ、独特のメロディー・ラインのある「うた」のようなものを創り出して、盛んに発音・発音練習を積み重ねていくが、1歳数ヶ月になると、おとなの話しているときのイントネーション・パターンを巧みに模倣して、会話の中に入ってきて、相槌を打っておとなを笑わせたりする。そのとき、子どもは、しっかりとその場の雰囲気・状況を把握しているということを実感する。コミュニケーションにおいて大切な、このような共感（empathy）を抱く体験など、明らかに右半球の役割と思われる。右半球の言語における役割の重要性については、Katoh（1995）も言語のプロソディックな側面、および、プラグマティックな側面から論じた。左半球の言語が、一般に言う言語だとするなら、右半球の言語はより包括的な意味での音楽に近い直感的言語と言えるかも知れない。1歳前後の幼児が、うたのような音楽的表現にさかんにからだ全体を動かすことによって、自己表現をしながら、漠然とした感情や感覚を伝えてくる。

「左半球は一般に系列的な処理に優れ、それゆえ両半球のうちでより分析的な半球であると考えられる。これに対して、右半球は、あらゆる種類の情報の処理に際して、左半球に比べ、より全体的・包括的な半球と考えられる。」しかも右半球と左半球の違いは、恐らく脳の進化の過程と深い関係があると思われる。発生・発達上、右脳が先で、左脳は、右脳から時間をかけて発達したということと無関係ではないと思われる。そして、喃語期から2歳児頃にかけて、幼児はメロディアスな言語らしきものを盛んに喋る。

今回の光トポグラフィーの実験結果、および、生後数ヶ月から女児および男児の音声言語の発達を中心に観察してきたが、まだ言葉にならないメロディーやさまざまな表情・感情表現とともに、左半球の言語を獲得する前の予備段階のような、身体を盛んに使って、イントネーションやメロディーやリズムと、時には大人の会話の抑揚やリズムを真似て、「うた」のような音楽のある表現を幼児は繰り返し練習してきた。6～7ヶ月ごろから1年数ヶ月にかけて、幼児はメロディー豊かな言語らしきものを喋り、母語獲得への準備を進めていく。言語と音楽、さらに空間認知能力と深い関係のある絵画描画能力についての右半球と左半球の興味深い係わり合いを投影したYoro's model（Katoh, 1995）を参照して頂きたい。実は、このモデルは、Nakadaらの英語と日本語と音楽（楽譜）を読む実験での結果—「言語を読む」と「楽譜を読む」という、一見かなり異質の行為と思われる行為にも、左半球の聴覚と視覚の連合野の「読む」（Read）部分が共通に活性化されていることが判明した。さらに、「楽譜を読む」場合にだけ特有に賦活した部分があった。この部位は、右半球・後頭葉のある部位、空間認知に特有のところと思われる。さらに、光トポグラフィーによるメロディーの実験で見えてきたように、我々が音楽に特有な活動とみ

なしていることも、実は、言語と同じ認知活動の部分と共有していたり、或いは、言語に独特の活動と思っていたことが、基本的に認知活動の部分であったりする。

Fig. 1. 英語、日本語、音楽に精通した29歳日本人男性の典型的なfMRI画像

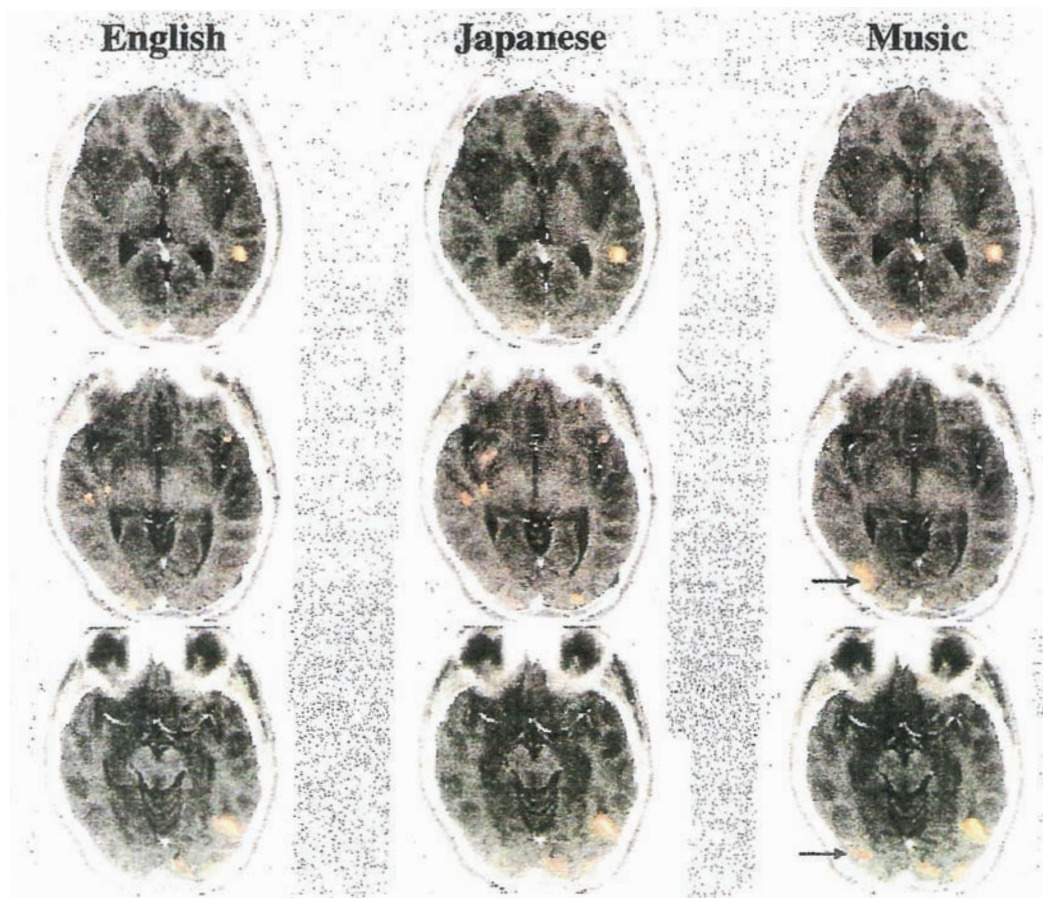


FIG. 1. Representative fMRI images of a 29-year-old Japanese male literate in English, Japanese, and music. Areas which exhibited statistically significant activation ( $p < 0.01$ ) associated with each reading process, as contrasted against the control visual stimulation condition (black and white pictorial image), are shown in Z scale. Cortical areas related to non-specific visual processing, such as the primary visual cortex, are effectively subtracted, allowing for determination of the activation pattern more specifically associated with reading. Activation occurred predominantly within a common set of areas regardless of the reading modality (primary language, secondary language, or music), and includes the auditory and visual association cortices. An area within the right occipital cortex is uniquely identified to be activated by reading music score (arrow).

3854 Vol 9 No 17 1 December 1998

#### 注

- 1) Pantev, C., A. Engellien, V. Candia, and T. Elbert (2001). The Biological Foundations of Music, *Annals of New York Academy of Sciences*. 930: 300-314.  
Pantev, C., A. Dinnesen, B. Ross, A. Wollbrink, and A. Knief (2010). *Dynamics of Auditory Plasticity after Cochlear Implantation: A Longitudinal Study*, Cerebral Cortex. Oxford University Press.
- 2) Geschwind, N., and Galaburda, A. (1987). *Cerebral Lateralization: Biological Mechanisms, Associations, and Pathology*. Cambridge, Mass.:MIT Press. GeschwindとGalaburdaは、本著5章 (5.8: Right Hemisphere Conservatism) において、ヒトの脳の発達過程において、右半球の重要な役割と早期性、即ち、右半球が左半球の発達を促し、左半球の発達に多大な影響を与えることを進化の



過程から説明している。同時に、右半球の専門とする領域は、空間に関する機能、例えば、外部空間の分析とか、体の方向定位とか見当識、また、我々の感情に纏わる重要な役割、例えば、主観的・独自の（個別的）体験とか、感情の外部への表出や他者によって示された感情の理解や認識・評価・鑑賞などであることを述べている。以下の引用を参照のこと：“The precocious development of the right hemisphere compared to that of the left deserves some consideration at this point, since it plays a major role in our hypothesis about the influences controlling dominance. since the right hemisphere develops earlier, those influences during fetal life and early postnatal life acting on the brain are more likely to affect development in the left hemisphere, which is at risk over a longer period. Woo (1931) found greater variability in the left side of the human skull than the right. Since growth of the skull closely reflects brain growth, these data provide further evidence for the greater modifiability of the left hemisphere in development. The earlier development of the right hemisphere is probably not a new phenomenon in humans, but rather one with a long evolutionary history. The development of the individual seems in this regard to recapitulate the course of evolution, a parallel for which there are good reasons in this particular case.

The advantage of earlier development of the right hemisphere derives from its specializations. Among the functions for which the human right hemisphere is dominant are certain types of spatial function, particularly the analysis of external space and the orientation of the body within this space. It also plays a major role in emotion, both in the subjective experience and in the external expression of emotion, as well as in the appreciation of emotion manifested by others. It is also of predominant importance in attention, a not unexpected finding since attentional systems rely heavily on the emotional systems in shifting the focus of concentration to external stimuli is of major importance for survival. . . (pp.44-45)

- 3) Geschwind, N., and A. Galaburda (1987). Figure 5.4 (p.47)の図 5.4と5.5を参照) : Standard asymmetry of the planum temporale (1987), the roughly triangular region lying posterior (inferior in the diagram) to the transverse auditory of Heschl (H) and bound laterally by the Sylvian fissure (S). This pattern of asymmetry is seen in approximately two-thirds of normal human brains. Other abbreviations: I, insula ; v, lateral ventricle.
- 4) Geschwind, N., and A. Galaburda (1987). 8章 : Standard and Anomalous Dominance [標準的な優位性と変則的な優位性]. 「実際、右か左のどちらの半球が優位なのかの問題は複雑であって、単純に決定出来るものではない。ある種の機能については、一方の半球が優位だが、また異なる種類の一群の機能については、他方の半球が優位であるというほうが問題が無い。一般に、利き手と言語障害（失語症など）との関係について、「右手が利き手である大部分の人々が失語症にかかる場合、左半球に損傷（病変）を受けている場合が多いのも事実であるが、左手が利き手である重篤な失語症患者の多くが左半球損傷の場合が多いのも事実であるということから、GeschwindとGalaburdaは、次のような説を提出している：“We make the assumption that language and handedness depend on separate neural substrates that do not necessarily develop at the same periods. It is likely, however, that the basic brain pattern in most humans is one in which the left hemisphere contains the separate brain regions involved in language acquisition and in the learning of certain types of motor skills. The neurological substrates of these functions probably develop according to different schedules.” (p.69) 更に、自転車に乗ったり、ダンスをしたりといった身体の両側の（筋肉）の協同作業の場合と異なって、言語活動の場合を考えると、実際に発声・発音など言葉を話すという行為は、両側の発音器官の筋肉を均等に使って、左右協同で実現するが、脳からの指令は、右半球か左半球のどちらか一方の側からの制御によることもありうることを示唆している。そして、その例として、「歌う」と「話す」ことに言及し、前者は右半球から、後者は左半球から制御さ



れているとしている。このことに関して、現在までにいくつかの実験もなされている。:

“Furthermore, in singing the same muscles are innervated bilaterally and yet may be controlled from the side of the brain contralateral to the one controlling speech. In fact, the movements of both speech and singing are far more symmetrical than many movements involving the trunk. It is commonly pointed out by coaches that ice-skaters find it easier to execute turns in one direction than in the other.” (p.77)

- 5) 加藤雅子, 北里大学博士論文 (2004): 言語と音楽の脳活動における比較考察—熟練と臨界期説。(第2章, 言語獲得と臨界期 [pp.21-52]) 言語獲得と年齢の問題、レネバークの臨界期説、グリムショーら (1998) の臨界期説への証拠などを検証し、問題点を探り、人口内耳装着手術と神経可塑性やヒトの脳の発達、特に、前頭葉の発達などの視点から、筆者提出の5段階に及ぶ臨界期は、第1臨界期と第2臨界期はピアジェの「感覚運動的な能力」、発声と発達の顕著な時期に、第3臨界期と第4臨界期は、ピアジェの「高度変容期」に、第5臨界期は、ピアジェの「形式的操作段階」に相当する。
- 6) Springer, S.P., and G. Deutsch. (1993) *Left Brain, Right Brain* (4<sup>th</sup> ed.), New York: W. H. Freeman and Co.
- 7) 注2および 注4を参照。
- 8) 加藤雅子 (2004) 『脳と言語の諸相』 p.72.
- 9) Besson, M., and D. Schon. (2001). Comparison between Language and Music. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930:232-258.
- 10) 事象関連電位 (event-related potential: ERP) 「ヒトの被験者でも、活動しているニューロンからある距離を隔てた逃避から電氣的活動を記録することができる。この方法は、過去50年間、脳波記録法 (electroencephalography: EEG, 脳電図) として臨床において一般に使われてきた。単一細胞についてのべたのとはほぼ同様の方法で、刺激に引き続く一連の心的処理過程を追跡するために、脳波を用いることができる。要は、何か刺激を与え、それに引き続く電氣的活動をきろくするということである。多くの試行をまとめて平均化すれば、刺激が生み出した電氣的活動だけが残る。この刺激が生み出した電氣的活動を事象関連電位 (ERP) と呼ぶ。『脳を観る』1章 (脳の電氣的記録／脳波の記録、p.37)。
- 11) Sergent, J., E. Zuck, S. Terriah, and B. MacDonald. (1992). Distributed Neural Network Underlying Musical Sight-Reading and Keyboard Performance, *Science*, 257: 106-109.
- 12) Sergent, et al. (1992): 197 “Coordinated of peak activation are expressed in milli-meters: X represents the medial-lateral axis (negative, left). Y the antero-posterior axis (negative, posterior), and Z the dorsolateral axis (negative, ventral). The Brodmann’s and cortical area corresponding to the coordinates are also shown.
- 13) 引用したTable 1: 対になる活動の引き算して導き出される重要な活動の焦点。  
皮質の名称の訳を記す:

- ① Second auditory, 二次聴覚野: Right 42, Left 42
- ② Superior temporal (gyrus) 上側頭回: Left 22
- ③ Primary motor, 一次運動野: Left 4
- ④ Cerebellum, 小脳: Right Cerebellum
- ⑤ Superior frontal gyrus, 上前頭回
- ⑥ Secondary visual, 二次視覚野: Right 18, Left 18
- ⑦ Occipito-parietal sulcus, 後頭・頭頂葉: Left 19
- ⑧ Secondary auditory, 二次聴覚野: Left 42, Right 42
- ⑨ Secondary temporal (gyrus) 二次側頭回: Right 22
- ⑩ Superior temporal (gyrus) 上側頭回: Left 22

- ⑪ Supramarginal gyrus 縁上回：Left 40
  - ⑫ Primary motor 一次運動野：Left 4
  - ⑬ Cerebellum 小脳：Right cerebellum
  - ⑭ Inferior frontal gyrus 下前頭回：Left 44
  - ⑮ Premotor cortex 左前頭回皮質：ブローカ野の直上
  - ⑯ Superior parietal lobe 上頭頂小葉：両側半球7野：Left 7, Right 7
- 14) EEG《脳電図》注10)を参照。頭皮上から記録される脳の電氣的活動の変化。一般には、脳波と呼ばれることが多い。脳波の記録は、H. Bergerの研究（1929～1938）に負うところが大きい。脳波は不規則な現象であるが、周波数の変化としては、1～25Hz、振幅の変化としては10～150Vの範囲を示すことが多い。 $\alpha$ 波（アルファ波）は覚醒安静時の閉眼状態で見られ、 $\beta$ 波（ベーター波）は開眼状態ないし精神活動が高まった時に現れ、 $\gamma$ 波（ガンマー波）と $\theta$ 波（シータ波）は睡眠時やその他の状態で見られる。脳波には個人差が見られ、様々な要因によって変化する。生下時には $\gamma$ 波のような徐波を示すが、4～5歳で $\alpha$ 波が観察されるが、10～12歳でほぼ成人の脳波に近づく。覚醒と睡眠も脳波を大きく変化させ、そのため意識水準を示す指標となる。覚醒時には $\beta$ 波を主とする低振幅速波が優勢であるが、睡眠時には $\delta$ 波（デルタ波）を伴う高振幅徐波が支配的となる。癲癇のような痙攣発作や意識喪失を伴う疾患では、特有の異常脳波が観られる。また、頭蓋内病変や薬物中毒、代謝性疾患でも脳波が異常を呈することが多い。したがって、脳波は神経疾患の補助診断法として重要なものとなっている。（医学大辞典、南山堂、脳波の項、p.1151参照）
- 15) Nakada, T., Fujii, Y., Suzuki, K., and I.L. Kwee. (1998) 'Musical brain' revealed by high-field (3 Telsa) functional MRI, *Cognitive Neuroscience* (NeuroReport) Vol. 9, No. 17 : 3853-3856（本頁はp.3854）.

## 参考文献

- Albert, M. and Obler, L. (1978). *The Bilingual Brain: Neuropsychological and Neurolinguistic Aspects of Bilingualism*. New York: Academic Press.
- Altenmuller, E. How Many Music Centers Are in the Brain? (2001) *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 273-280
- Bangert, M., Haeusler, and Altenmuller, E. (2001), On Practice: How the Brain Connects Piano Keys and Piano Sounds. *Annals of New York Academy of Sciences*.
- Besson, M., and Schon, Daniele. (2001). 930, 232-258.
- Baxter, L.C., Saykin, A.J., Flashman, L.A., Johnson, S.C., Guerin, S.J., Babcock, D.R., Wishart, H.A. (2003). Sex Differences in Semantic Language Processing: A Functional MRI study. *Brain and Language*, 84, 264-272.
- Behrens, S.J. (1985). The Perception of Stress and Lateralization of Prosody. *Brain and Language*, 36, 332-348.
- Benson, D.F., and Ardila, A. (1996). *Aphasia: A Clinical Perspective*. Oxford New York: Oxford University Press.
- Bhattacharya, J., Petsche, H. (2001). Universality in the Brain While Listening to Music. *The Royal Society*, 268, 2423-2433.
- Brown, S. (2001). Are Music and Language Homologues? *Annals of New York Academy of Sciences*. 930, 372-374
- Cohen, M., Pratter, A., Town, P., and Hynd, G. (1990). Neurodevelopmental Differences in Emotional Prosody in Normal Children and Children with Left and Right Temporal Lobe Epilepsy. *Brain and Language*, 38, 122-134.

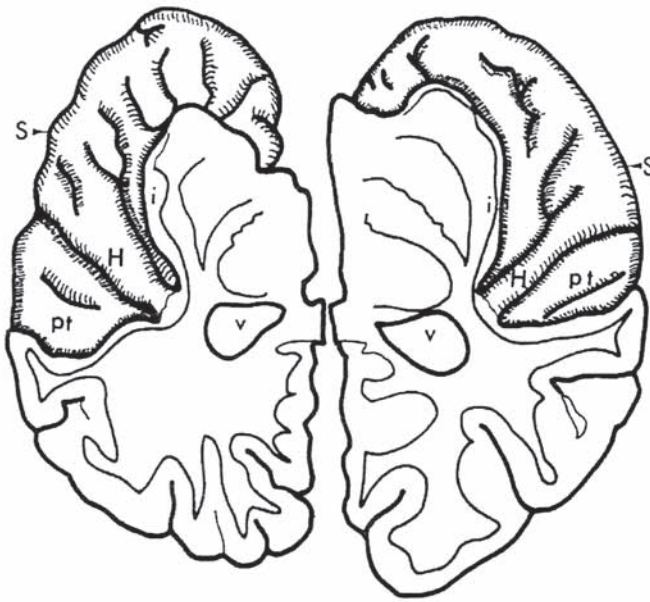


Figure 5.4 : Standard asymmetry of the planum temporale (*pt*) [側頭平面の標準的な非対称性], the roughly triangular region lying posterior (inferior in the diagram) to the transverse auditory gyrus of Heschl (*H*) and bound laterally by the Sylvian fissure (*S*). This pattern of asymmetry is seen in approximately two-thirds of normal human brains. Other abbreviations: *i*, insula; *v*, lateral ventricle.

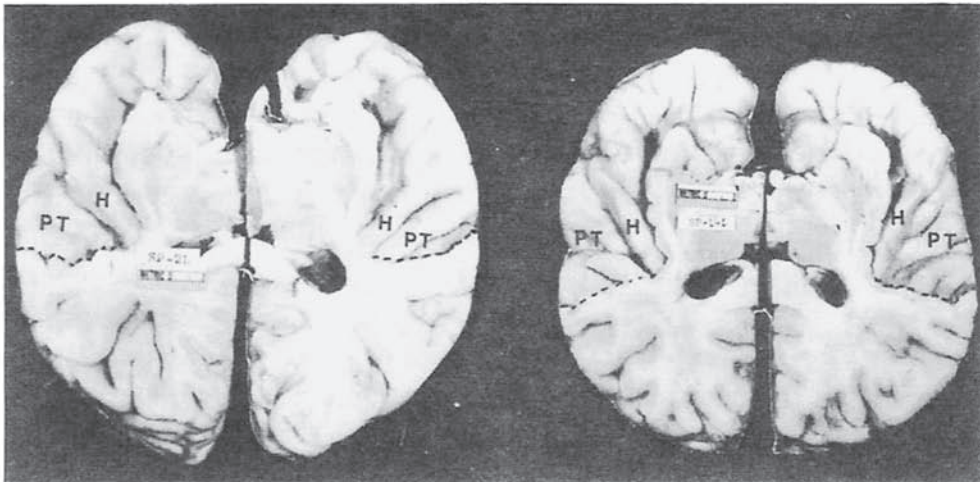


Figure 5.5 : Symmetry and asymmetry in the human planum temporale (*PT*) [ヒトの側頭平面の対称性と非対称性]. Two observations characterize these cases: (1), when the brain is symmetrical in this region, both plana tend to be relatively large (that is, the standard left planum pattern is preserved bilaterally); (2) the splenium of the corpus callosum (cut in the midline of the photographs) appears to be thicker in the symmetrical cases.

- Cohen, M., Branch, W., and Hynd, G. (1994). Receptive Prosody in children with Left or Right Hemisphere Evidence from Transcranial Magnetic Stimulation. *Brain and Language*, 47, 177-181.
- Coslett, H., Branch, W., and Monsul, N. (1994). Reading with the Right Hemisphere: Evidence from Transcranial Magnetic Stimulation. *Brain and Language*, 46, 198-211.
- Curtiss, S. (1977). *Genie: A Psychological Study of a Modern-day "Wild Child."* New York: Academic Press.
- Engelien, C. P., Candia, V., and Elbert, T. (2001), 930, 300-314.
- Geschwind, N., and Galaburda, A. (1987). *Cerebral Lateralization: Biological Mechanisms, Associations, and Pathology*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Gitterman, M.R. (1999). The Critical Period : Some Thoughts on Grimshaw, et al. (1998). *Brain and Language*. 66, 377-381.
- Goodglass, H. (1993). *Understanding Aphasia*. (Foundations of Neuropsychology Series.) New York: Academic Press.
- Grimshaw, G.M., Adelstein, A., Bryden, M.P., and MacKinnon, G.E. (1998). First Language Acquisition in Adolescence; Evidence for a Critical Period for Verbal Language Development. *Brain and Language*. 63, 237-255. New York: Academic Press.
- Grossbach, M., Kuck, H., Bangert, M., and Altenmuller, B. (2001). Cortical Representations of Temporal Structures in Music. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 418-419.
- Hebert, S., Racette, A., Gag, L., and Peretz, I. (2003). Revisiting the Dissociation between Singing and Speaking in Expressive Aphasia. *Brain*, 126, 1838-1850.
- Iwata, M. (岩田誠) (2001). 『脳と音楽』 [Brain & Music] メディカルレビュー社.
- Johnson, J.S., and Newport, E.L. (1989). Critical Period Effects in Second Language Learning: the Influences of Maturational State on the Acquisition of English as a Second Language. *Cognitive Psychology*, 21 60-99.
- Johnson, J.S. (1992). Critical Period Effects in Second Language Acquisition: The Effect of Written versus Auditory Materials on the Assessment of Grammatical Competence. *Language Learning*, 42, No. 2, 217-248.
- Johnstrude, I., Penhune, V.B., and Zatorre, R.J. (2000). Functional Specificity in the Right Human Auditory Cortex for Perceiving Pitch Direction. *Brain*, 123, 155-163.
- Katoh, M. (加藤雅子) (1995). Recent Research on the Functions of the Right Hemisphere in Language Use. *Studies of English and American Literature.*, 30. Tokyo: Japan Women's University.
- \_\_\_\_\_. (2001). 言語発達と臨界期 [Linguistic Development and the Critical Period] *Bulletin of the Faculty of Humanities*, Vol.51, 41-68.
- \_\_\_\_\_. (2003). 脳の側性化と言語処理. [Cerebral Lateralization and the Linguistic Processing] *Studies of English and American Literature*, Vol. 38, 67-86.
- \_\_\_\_\_. (2004). 脳と言語の諸相 [Aspects of the Theory of the Brain and Language], 青山社 [Seizansha].
- \_\_\_\_\_. (2004). 北里大学博士論文：言語と音楽の脳活動における比較考察—熟練と臨界期説.
- Kim, K.H., Relkin, S., Norman, R., Kyoung-Min, L., Hirsch, J. (1997). Distinct Cortical Areas Associated with Native and Second Languages, *Nature*, 388, 171-174.
- Langheim, F. J. P., Callicott, J. H., Mattay, V. S., Duyn, J. H., and Weinberger, R. Cortical Systems Associated with Covert Musical Rehearsal. (2002). *Neuroimage*, 16, 901-908.
- Lassonde, M., Bryden, M.P., and Meners, P. (1990) The Corpus Callosum and Cerebral Speech Lateralization. *Brain and Language*, 38, 195-206.

- Lenneberg, E.H., (1967). *Biological Foundations of Language*. John Wiley & Sons, Inc.
- Liegeois-Chauvel, C., Peretz, I., Barbar, M., Laguitton, V., and Chauvel, P. (1998). *Brain*, 121, 1853-1867.
- Masataka, N. (正高信男). (2001) 『子どもはことばをからだで覚える—メロディーから意味の世界へ—』  
[Children learn language through bodily actions] 中央公論新社.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T.C., and Friederici, A. (2001). Musical Syntax is Processed in Broca's Area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 4, No. 5, 540-545.
- Munte, F.C., Altenmüller, E. and Jancke, L. (2002). The Musician's Brain as a Model of Neuroplasticity. *Nature Reviews*, 3, 473-474.
- Nakada, T. (中田力) (2002). 『脳の方程式』 [The Brain formula+ $\alpha$ ] 紀伊国屋書店.
- Nakada, T., Fujii, Y., Suzuki, K., and Kwee I. L. (1998). 'Musical Brain' revealed by high-field (3 T) functional MRI. *Neuroreport*, 9, 3853-3856.
- Newport, E.L. (1990). Maturation Constraints on Language Learning. *Cognitive Science*, 14, 11-28.
- Ogascual-Leone, (2001). A. The Brain That Plays Music and Is Changed by It. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 315-329.
- Oldfield, R.C. (1971). The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Olson, L.L. and Samuels, S.J. (1973). The Relationship between Age and Accuracy of Foreign Language Pronunciation. *The Journal of Educational Research*, 66, 263-268.
- Oyama, S. (1976). A Sensitive Period for the Acquisition of a Nonnative Phonological System. *Journal of Psychological Research*, 5, 261-283.
- Penfield, W., and Roberts, L. (1959). *Speech and Brain Mechanisms*. Princeton: MA, Princeton Univ. Press.
- Peretz, I. Brain Specialization for Music: New Evidence from Congenital Amusia. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 153-165.
- Posner, M., and Raichle, M. (1994). *Images of Mind*. New York: Scientific American Library. [『脳を観る』 養老孟司・加藤雅子・笠井清登訳；日経サイエンス社, 1997年]
- Rauschecker, J. P. (2001). Cortical Plasticity and Music. *Annals of New York Academy of Sciences*, (2001). 930, 330-336.
- Raven, J.C., Court, J.H., Raven, J. (1979). Manual for Raven's Colored Progressive Matrices and Vocabulary Scale. London: H.K. Lewis & Co. Ltd. (1956: 1<sup>st</sup> ed.).
- Riecker, A., Ackermann, H., Wildgruber, D., Dogil, G., and Grodd, W. (2000). Opposite Hemispheric Lateralization Effects during Speaking and Singing at Motor Cortex, Insula and Cerebellum. *Neuro-Report* 11, No. 9, 1997
- Rumelhart, D., and McClelland, J.L. (1986). On Learning the Past Tense of English Verbs. In Rumelhart, D., McClelland, J.L. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, 2, 216-271.
- Saffran, J., Loman, M., and Robertson, R. (2001) Infant Long-Term Memory for Music. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 397-400.
- Sandberg, E.H. (1999). Cognitive Constraints on the Development of Hierarchical Spatial Organization Skills. *Cognitive Development*, 14, 597-619.
- Sawaguchi, T. (澤口俊之) (1989). 『知性の脳構造と進化—精神の生物学序説—』 海鳴社.
- Schlaug, G. (2001). The Brain of Musicians: A Model for Functional and Structural Adaptation. *Annals of New York Academy of Sciences*. 930, 281-299.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, G., Spencht, H. J., Gutschalk, A. (2002). Morphology of Heschl's Gyrus



- Reflects Enhanced Activation in the Auditory Cortex of Musicians. *Nature Neuroscience*, 5, No. 7, 688-694.
- Sergent, J., Zuck, E., Terriah, S., MacDonald, B. (1992). Distributed Neural Network Underlying Musical Sight-Reading and Keyboard Performance. *Science*, 257, 106-109.
- Snow, C.E., Hoefnagel-Hohle, M. (1977). Age Differences in the Pronunciation of Foreign Sounds. *Language and Speech*, 20, Part 4, 357-365.
- Snow, C.E., Hoefnagel-Hohle, M. (1978). The Critical Period for Language Acquisition: Evidence from Second Language Learning. *Child Development*, 49, 1114-1128.
- Spitzer, M. (1996). Geist im Netz. Heidelberg/ Berlin/Oxford: Spektrum Akademischer Verlag
- Taga, G., Konishi, Y., Maki, A., Tachibana, T., Fujisawa, M., Koizumi, H. (2000). Spontaneous Oscillation of Oxy- and Deoxy- Hemoglobin Changes with a Phase Difference throughout the Occipital Cortex of Newborn Infants Observed Using Non-invasive Optical Topography. *Neuroscience Letters*, 282, 101-104.
- Tervaniemi, M., Medvedev, S.V., Alho, K., Pakhomov, S.V., Roudas, M.S., Zuijen, T.L., and Naatanen, R. (2000). Lateralized Automatic Auditory Processing of Phonetic versus Musical Information: A PET Study. *Human Brain Mapping*, 10, 74-79.
- Tervaniemi, M., Kujala, A., Alho, K., Virtanen, J., Ilmoniemi, R.J., and Naatanen, R. (1999). Functional Specialization of the Human Auditory Cortex in Processing Phonetic and Musical Sounds; A Magnetoencephalographic (MEG) Study. *NeuroImage*, 9, 330-336.
- Tervaniemi, M. (2001). Musical Sound Processing in the Human Brain. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 259-272.
- Trehub, S. (2001). Musical Predispositions in Infancy. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930, 1-16.
- Vargha-Khadem, F., O'Gorman, A.M., and Watters, G.V. (1985). Aphasia and Handedness in relation to Hemispheric Side, Age at Injury and Severity of Cerebral Lesion during Childhood. *Brain*, 108, 677-696.
- Yoro, T. (養老孟司). (1989). *Yuinohron* [唯脳論 : Theory of Monism on the Human Brain] 青土社.

追記：

本論文は筆者が北里大学大学院医学専攻博士課程（2000年4月～2004年3月在学）において、養老孟司教授指導の下、執筆した学位論文（2004年3月）からの多くの引用を含むものである。